

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-353677

(P2001-353677A)

(43) 公開日 平成13年12月25日 (2001. 12. 25)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	特記事項 <sup>*</sup> (参考)		
B 2 5 J	13/00	B 2 5 J	13/00	A	3 F 0 5 9
	9/10		9/10	A	5 H 2 6 9
	9/22		9/22	Z	5 H 3 0 3
G 0 5 B	19/404	G 0 5 B	19/404	J	
G 0 5 D	3/12	G 0 5 D	3/12	U	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-181186(P2000-181186)

(22) 出願日 平成12年6月16日 (2000. 6. 16)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 牧田 裕行

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72) 発明者 前川 清石

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74) 代理人 100102439

弁理士 宮田 金雄 (外1名)

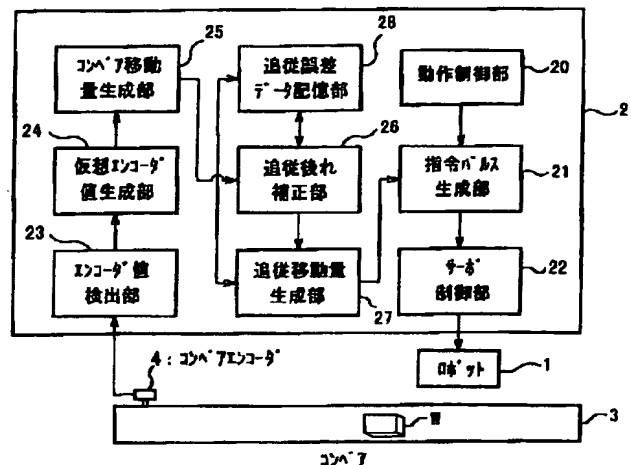
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット制御装置

(57) 【要約】

【課題】 コンベアによって移動するロボットの作業対象物を高精度に高速で追従作業できるようにする。

【解決手段】 コンベア位置検出部、仮想搬送装置位置生成部、コンベア移動量生成部、追従誤差記憶部、追従遅れ補正部、追従移動量生成部、ロボットの動作制御部、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部、サーボ制御部を備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業を行なわせるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置から搬送装置の移動量を生成する搬送装置移動量生成部と、ロボットの追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部に記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された移動量とに基づきロボットの追従遅れを補正し、次回の搬送装置の予想位置を生成する追従遅れ補正部と、追従遅れ補正部で生成された次回の予想位置からロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離を求め、あらかじめ定められたロボットの加速パターン、減速パターン、ロボットの現在追従速度、搬送装置の現在速度、追従距離より最短時間でロボットの速度と搬送装置の速度が等しくかつロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離がゼロになるように次回のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値からサーボモータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたロボット制御装置。

【請求項 2】 搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業を行なわせるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置から搬送装置の移動量を生成する搬送装置移動量生成部と、ロボットの追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部で記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された搬送装置の移動量とに基づき、指令値生成部からサーボ制御部に指令値が送信される時間遅れと、サーボ制御部でのロボットの制御遅れ量とを補正し、次回の搬送装置の予想位置を生成する追従遅れ補正部と、追従遅れ補正部で生成された搬送装置の次回の予想位置から次回のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値からサーボモータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたロボット制御装置。

【請求項 3】 ロボットの制御遅れ量を、サーボモータの制御ゲインから求めることを特徴とする請求項 2 記載のロボット制御装置。

【請求項 4】 搬送装置又はロボットの状態ごとの補正データを記憶する記憶領域を備え、ロボットの制御遅れ量を、搬送装置又はロボットの状態ごとの補正データに

より決定することを特徴とする請求項 2 記載のロボット制御装置。

【請求項 5】 搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業を行なわせるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置データを変換し、仮想的な搬送装置の位置を生成する仮想搬送装置位置生成部と、仮想位置データから搬送装置の移動量を生成する搬送装置移動量生成部と、追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部に記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された移動量とに基づきロボットの追従遅れを補正し、次回の搬送装置の予想位置を生成する追従遅れ補正部と、追従遅れ補正部で生成された次回の搬送装置の予想位置からロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離を求め、あらかじめ定められたロボットの加速パターン、減速パターン、ロボットの現在追従速度、搬送装置の現在速度、前記追従距離より最短時間でロボットの速度と搬送装置の速度が等しくかつロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離がゼロになるように次回のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値からサーボモータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたことを特徴とするロボット制御装置。

【請求項 6】 搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業を行なわせるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置から搬送装置の移動量を生成する反訴う装置移動量生成部と、追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部で記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された搬送装置の移動量をもとに次回の反訴う装置の予想位置を生成し、次回の搬送装置の予想位置からロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離を求め、あらかじめ定められたロボットの加速パターン、減速パターン、ロボットの現在追従速度、搬送装置の現在速度、前記追従距離より最短時間でロボットの速度と搬送装置の速度が等しくかつロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離がゼロになるように次回のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値をもとに追従遅れを補正する関節追従遅れ補正部と、関節追従遅れ補正部で補正した指令値によりサーボ

モータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたことを特徴とするロボット制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、搬送装置により移動中の作業対象物(以下、対象物)に対し、追従しながら作業を行う産業用ロボット(以下、ロボットという)のロボット制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】図8は、例えば特開平3-154103号公報に示された従来のロボット制御装置を示すブロック図である。図において、101は動作制御部、102は動作軌跡作成部、103は制御サイクル周期後到達位置作成部、104は制御サイクル周期後到達位置修正部、105は逆変換部、106は制御サイクル周期後指令パルス作成部、107はサーボ制御部、108は同期開始リミットスイッチ、109はコンベアエンコーダ、110は積算カウンタ、111は制御サイクル周期内コンベア移動パルス計測部、112は制御サイクル周期内コンベア移動量作成部、113は追従遅れ量加速補正処理部、114はコンベア移動量平均部、115は位置修正量演算部、116、117は経路、118はロボットである。

【0003】次に、動作について説明する。同期開始リミットスイッチ108をロボット118が作業を行う対象物が横切ると、カウンタ110がリセットされるとともに動作制御部101に対象物の同期開始点到達を知らせる。カウンタ110は、コンベアエンコーダ109から出力されるパルスにより、コンベアの移動に従ってパルスを積算し、制御サイクル周期コンベア移動パルス計測部111では、カウンタ110の値より、1制御サイクル周期の移動パルス数 $\Delta C_n$ を計測する。制御サイクル周期内コンベア移動作成部112では移動パルス数より、コンベア移動量 $\Delta L_n$ を求める。追従遅れ量加速補正処理部113では、追従遅れを補正するため、ロボット118遅れ時間分補正量を $\Delta L_n$ に加え、対象物に追いつくように $\Delta L_n$ を補正する。コンベア移動量平均化部では、指令値の速度波形が滑らかになるように過去数回分の $\Delta L_n$ を平均し、平均化移動量 $\Delta L_a$ を求める。位置修正量演算部115では移動量 $\Delta L_a$ をコンベア方向に分解する。分解された平均化コンベア移動量は、制御サイクル周期後到達位置修正部104において、動作プログラムによって実行されるロボット118の指令値に加えられる。このようにして、ロボット118は、平均化移動量分コンベアの移動方向に動作しながら、対象物に対して作業を行う。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来のロボット制御装置は、コンベアの移動量に変動があった場合に、追従遅れ量加速補正処理部において1制御サイクル周期内で全

遅れ量を加え、その後平均化を行っているので、平均化後の移動量の変化が滑らかでなく、追従開始時やコンベアの速度が急激に変化した場合、ロボットの動作が振動的になるという問題があった。

【0005】また、コンベア移動量を過去数回分の移動量で平均化するため、平均化による遅れが生じるという問題があった。

【0006】この発明は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、コンベア等の搬送装置における移動量の変化が大きくても高速高精度な追従作業を実行可能なロボット制御装置を得ることを目的とするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】この発明の第1の構成によるロボット制御装置は、搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業を行わせるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置から搬送装置の移動量を生成する搬送装置移動量生成部と、ロボットの追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部に記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された移動量とに基づきロボットの追従遅れを補正し、次回の搬送装置の予想位置を生成する追従遅れ補正部と、追従遅れ補正部で生成された次回の予想位置からロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離を求め、あらかじめ定められたロボットの加速パターン、減速パターン、ロボットの現在追従速度、搬送装置の現在速度、追従距離より最短時間でロボットの速度と搬送装置の速度が等しくかつロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離がゼロになるように次回のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値からサーボモータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたものである。

【0008】また、この発明の第2の構成によるロボット制御装置は、搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業を行わせるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置から搬送装置の移動量を生成する搬送装置移動量生成部と、ロボットの追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部に記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された搬送装置の移動量とに基づき、指令値生成部からサーボ制御部に指令値が送信される時間遅れと、サーボ制御部でのロボットの制御遅れ量とを補正し、次回の搬送装置の予想位置を生成する追従遅れ補正部と、追従遅れ補正部で生成された搬送装置の次回

の予想位置から次のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値からサーボモータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたものである。

【0009】また、この発明の第3の構成によるロボット制御装置は、ロボットの制御遅れ量を、サーボモータの制御ゲインから求める構成にしたものである。

【0010】また、この発明の第4の構成によるロボット制御装置は、搬送装置又はロボットの状態ごとの補正データを記憶する記憶領域を備え、ロボットの制御遅れ量を、搬送装置又はロボットの状態ごとの補正データにより決定する構成にしたものである。

【0011】また、この発明の第5の構成によるロボット制御装置は、搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業を行なわせるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置データを変換し、仮想的な搬送装置の位置を生成する仮想搬送装置位置生成部と、仮想位置データから搬送装置の移動量を生成する搬送装置移動量生成部と、追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部に記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された移動量とに基づきロボットの追従遅れを補正し、次の搬送装置の予想位置を生成する追従遅れ補正部と、追従遅れ補正部で生成された次の搬送装置の予想位置からロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離を求め、あらかじめ定められたロボットの加速パターン、減速パターン、ロボットの現在追従速度、搬送装置の現在速度、前記追従距離より最短時間でロボットの速度と搬送装置の速度が等しくかつロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離がゼロになるように次のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値からサーボモータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたものである。

【0012】また、この発明の第6の構成によるロボット制御装置は、搬送装置によって搬送される作業対象物に対して追従しながらロボットに作業させるロボット制御装置において、搬送装置の位置を検出する搬送装置位置検出部と、搬送装置位置検出部から得られた位置から搬送装置の移動量を生成する搬送装置移動量生成部と、追従誤差を記憶しておく追従誤差記憶部と、追従誤差記憶部で記憶された追従誤差と搬送装置移動量生成部で生成された搬送装置の移動量をもとに次の搬送装置の予

想位置を生成し、次の搬送装置の予想位置からロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離を求め、あらかじめ定められたロボットの加速パターン、減速パターン、ロボットの現在追従速度、搬送装置の現在速度、前記追従距離より最短時間でロボットの速度と搬送装置の速度が等しくかつロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従距離がゼロになるように次のロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部と、ロボットの通常動作の指令値を生成する動作制御部と、動作制御部で生成された指令値と追従移動量生成部で生成された追従移動量を合成し、ロボットへの指令値を生成する指令値生成部と、指令値生成部で生成した指令値をもとに追従遅れを補正する関節追従遅れ補正部と、関節追従遅れ補正部で補正した指令値によりサーボモータを制御しロボットを動作させるサーボ制御部を備えたものである。

【0013】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 図1は、この発明を実施するための実施の形態1によるロボット制御装置を説明するための構成図である。図において、1はロボット、2はロボット制御装置、3は作業対象物(以下、ワーク)Wを搬送する搬送装置であるコンベア、4はコンベアの移動量を検知するコンベアエンコーダである。20は動作制御部であり、ロボットの動作プログラムによって記述された動きを実現するための指令値を制御周期ごとに生成し、指令パルス生成部21に出力する。指令パルス生成部21では動作制御部で生成された指令値を逆変換などを行い、サーボ制御部22に指令パルス出力する。サーボ制御部22では指令パルスに従ってロボットのサーボモータを制御し、ロボットを動作させる。23はエンコーダ値検出部で、コンベアエンコーダ4から出力されたパルスを受信し、パルスを積算してコンベアの位置を管理する。24は仮想エンコーダ値生成部で、エンコーダ値検出部23で管理しているエンコーダ値を仮想エンコーダ値に変換する。25はコンベア移動量生成部で仮想エンコーダ値を元にコンベアの移動量を生成する。26はサーボ制御の遅れなどを補正する追従遅れ補正部、27はロボットの追従移動量を生成する追従移動量生成部、28は追従誤差を記憶しておく追従誤差データ記憶部である。

【0014】次に動作について説明する。ワークWがコンベア3によって運ばれ、光電センサや画像センサなどのセンサ(記載せず)により、ロボットの動作範囲に入ったことを検出すると、以下のようにして追従動作を開始する。コンベア3が動作すると同時にコンベアエンコーダ4も回転し、パルスを発生する。発生したパルスはエンコーダ値検出部23でカウントされ、コンベアの位置が検出される。エンコーダ値検出部は例えば16bitの積算カウンタで構成され、0～65535の値をとる。仮想エンコーダ値生成部24では、1制御周期ごと

にエンコーダ値をエンコーダ値検出部23から読み出し、仮想エンコーダ値を生成する。

【0015】仮想エンコーダ値は次のようにして求める。現在の時刻を $t_i$ 、1制御周期前の時刻を $t_{i-1}$ 、1制御周期後の時刻を $t_{i+1}$ とし、時刻 $t_{i-1}$ 、 $t_i$ のエンコーダ値をそれぞれ $E_{i-1}$ 、 $E_i$ 、仮想エンコーダ値を $F_{i-1}$ 、 $F_i$ とする。また、仮想エンコーダ値の最大値、最小値を $F_{max}$ 、 $F_{min}$ とすると、 $F_i$ の値は、 $F_i = F_{i+1} + f(E_i - E_{i-1})$

【0016】ここで、 $f(x_i)$ はフィルタ関数であり、コンベアの速度変動の状態によって選択する。例えば、コンベアの速度変動があまりなく、ロボットに振動が発生しない場合は、フィルタなしとし、

$$f(x_i) = x_i$$

【0017】コンベアの変動の頻度が高く、ロボットの動作が振動的になる場合は、例えば、次に示すような平均化関数の式(1)を用いる。

【0018】

【数1】

$$f(x_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{i-j+1} \quad \dots (1)$$

【0019】ここで、 $m$ は正の整数である。振動が少ない場合は、 $m$ の値を小さく設定し、振動が大きい場合は、 $m$ の値を大きく設定する。

【0020】上記のように求めた $F_i$ に対し、 $F_i$ が最大値 $F_{max}$ を越えた場合は、

$$F_i = F_i - F_{max} + F_{min}$$

また、 $F_i$ が最小値 $F_{min}$ 以下になった場合は、

$$F_i = F_i + F_{max} - F_{min}$$

とする。 $F_{max}$ 、 $F_{min}$ は自由に設定可能である。16bitのカウンタではワークの搬送中にエンコーダが65535パルス分以上回ってしまうと、桁あふれが発生し、位置が管理できなくなるが、 $F_{max}$ 、 $F_{min}$ を大きく設定することにより、長いコンベアにも対応が可能となる。

【0021】コンベア移動量生成部25では、まず仮想エンコーダ値生成部24で生成された仮想エンコーダ値 $F_i$ 、 $F_{i-1}$ から1制御周期でのエンコーダ値変化量 $dF_i$ を求める。次に、あらかじめ求めておいた3次元空間における1パルスあたりの移動量 $[dx, dy, dz]$ を使って、1制御周期あたりのコンベアの3次元空間における移動量 $dC_i = [dx \times dF_i, dy \times dF_i, dz \times dF_i]$ を求める。

【0022】追従遅れ補正部26では、まず、コンベア移動量生成部25で得られたコンベアの移動量 $dC_i$ から、次の1制御周期間のコンベア移動量 $Vc$ を推定する。コンベア次制御周期推定移動量 $Vc$ は例えば次式で求める。

$$Vc = dC_i + a \times (dC_i - dC_{i-1})$$

ここで、 $a$ は修正係数、 $dC_{i-1}$ は時刻 $t_{i-2}$ から $t_{i-1}$ におけるコンベアの移動量である。 $a$ の値はコンベアの速度変動に応じて決定する。コンベアの速度変動がほとんどない場合は、 $a = 0$ とし、現在の速度と同一の速度で動作したものとコンベア推定移動量 $Vc$ を求める。また、速度変動が大きく、ずれが大きくなる場合、 $a = 1.0$ とすることにより、速度変動によるずれを補正することが可能である。速度変動により、ロボットの動作が振動的になる場合は、 $a$ に負の値、例えば、 $a = -0.5$ とすることにより、振動を抑制する効果がある。

【0023】次に追従遅れ補正量 $dD_{i+1}$ を次式により求める。

$$dD_{i+1} = b \times Vc$$

$b$ は追従遅れ補正係数であり、次式で求める。

$$b = 1 / (KT) + c + 1$$

ここで、 $K$ はサーボモータの位置ループの制御ゲイン、 $T$ はロボットの制御周期、 $c$ は指令パルス生成部21で指令値を生成してからサーボ制御部22に指令値が入力されるまでの制御周期数である。左辺第3項の1は次制御周期中のコンベアの移動量を反映するためのものである。位置ループゲイン $K$ はコンベアの進行方向にロボットを動作させたときに最も動作量の大きい関節のサーボモータのゲインを用いれば良い。

【0024】上記の補正後、コンベアの速度が変化しても追従誤差が発生しない場合は、上記の $b$ の値で良いが、追従誤差が変化する場合に次のようにして補正できる。コンベア速度 $v1$  [mm/s]のとき、 $x1$  [mm]、 $v2$  [mm/s]のとき $x2$  [mm]の遅れが発生する場合、上記の $b$ の代わりに次式を用いるとよい。

$$b = 1 / (KT) + c + (x2 - x1) / ((v2 - v1)T) + 1$$

【0025】次に、生成された追従遅れ補正量 $dD_{i+1}$ を元にロボット追従目標移動量 $D_{i+1}$ を求める。まず、前回追従誤差 $R_i$ を追従誤差データ記憶部28から読み出す。追従遅れ補正量 $dD_{i+1}$ と追従誤差 $R_i$ より、追従目標移動量 $D_{i+1}$ を次式により求める。

$$D_{i+1} = dD_{i+1} + R_i$$

【0026】追従移動量生成部27では、追従遅れ補正部26で生成された追従目標移動量 $D_{i+1}$ とロボットの前制御周期での追従移動量 $Vr$ 、コンベアの次制御周期での推定移動量 $Vc$ より、次制御周期でのロボットの追従移動量 $Vn$ を求める。次制御周期におけるロボットの追従移動量 $Vn$ の求め方について図2を用いて示す。なお、 $Vr$ 、 $Vc$ 、 $D_{i+1}$ などは3次元データであり、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向の3要素を持つが、図2の処理をそれぞれの要素について行うことにより $Vn$ を求める。以下では、 $Vr$ 、 $Vc$ 、 $D_{i+1}$ の各要素をそれぞれ $vr$ 、 $vc$ 、 $d$ とする。なお、各移動量の符号はコンベアの進行方向を正とする。

【0027】まず、ST1ではロボットの前制御周期追従移動量 $v_r$ の正負を判断し、正の場合は図2に示すフローに従いステップST2に、また負の場合はST30へ進む。ST30の詳細な手順は図3に示す。ステップST2では、次制御周期でロボットが加速した場合、減速した場合の1制御周期追従移動量 $v_a$ 、 $v_d$ を次式により求める。

$$v_a = v_r + acc$$

$$v_d = v_r - dec$$

ここで、 $acc$ 、 $dec$ はそれぞれ1制御周期追従加速10 量、減速量であり、共に正の値である。これらの値はロボットの特性を考慮して決定される。このようにして求めた次制御周期最大移動量 $v_a$ とロボットの1制御周期最大移動量 $v_{max}$ を比較し、 $v_a$ が $v_{max}$ より大きい場合は $v_a = v_{max}$ とする。

【0028】ステップST3では、コンベアの推定移動量 $v_c$ とロボットの前制御周期追従移動量 $v_r$ を比較し、 $v_c$ の方が大きい場合はロボットを加速しなければならないので、ステップST4で加減速度 $ad$ に $acc$ をセットし、 $v_r$ の方が大きい場合は、ロボットは減速10 しなければならないので加減速度 $ad$ に $-dec$ をセットする。

【0029】ステップST5ではコンベアとロボットが等速度になるまでに要する制御周期数 $n$ を次式により求める。

$$n = \text{int}((v_c - v_r) / ad)$$

ここで、 $\text{int}(x)$ は $x$ を超えない最大の整数を求める関数である。ステップST16で、 $n$ が0でない正の整数の場合、ステップST7に進み、 $n$ 制御周期後にロボットが追従目標移動量 $d$ 移動するために必要な次制御30 周期でのロボット追従移動量 $v_n$ を次式で求める。

$$v_n = (d + v_c \times (n - 1)) / n - (n - 1) \times ad / 2$$

【0030】ステップST16において $n$ が0の場合、ロボットとコンベアは等速度であるので、ステップST11で次制御周期のロボット追従移動量 $v_n$ を $v_n = d$ とする。

【0031】ステップST8では、ステップST7、ST11で求めた $v_n$ と、ステップST2で求めた次制御周期最大追従移動量 $v_a$ の大小を比較し、 $v_n$ が $v_a$ より大きい場合は、あらかじめ設定した加速度以上に加速しないように $v_n = v_a$ に修正する。小さい場合はステップST12に進み、 $v_n$ と次制御周期最小追従移動量 $v_d$ と大小を比較する。 $v_n$ が $v_d$ より小さい場合はあらかじめ設定した減速度以上に減速しないように、 $v_n = v_d$ に修正する。 $v_n$ の方が大きい場合は修正せずにそのままの値を次制御周期の追従移動量とする。

【0032】一方、ステップST1で $v_r$ が0以下に場合は、コンベアとロボットが反対方向に動作、またはロボットが停止している場合であり、ST30へ進む。図 50

3はST30における処理手順を示す。

【0033】ステップST14では、ロボットの次制御周期最大追従移動量 $v_a$ と次制御周期最小追従移動量 $v_d$ を次式により求める

$$v_a = v_r - acc$$

$$v_d = v_r + dec$$

ただし、 $v_a$ がロボット最大追従移動量 $v_{max}$ より大きい場合は、 $v_a = -v_{max}$ とする。

【0034】次にステップST15では、次式によりコンベアとロボットが等速度になるまでに要する制御周期数 $n$ を求める。

$$na = \text{int}(\text{abs}(v_c / acc)) + 1$$

$$nd = \text{int}(\text{abs}(v_r / dec))$$

$$n = na + nd$$

ここで、 $\text{abs}(x)$ は $x$ の絶対値を求める関数であり、 $na$ はロボットが速度0からコンベアの速度に達するまでの制御周期数、 $nd$ はロボットが現在速度から速度0に減速するまでの制御周期数である。

【0035】ステップST16では、 $nd$ が0でない正の整数であるか否かを判断し、0でない正の整数の場合はステップST17へ進み、0の場合はステップST20へ進む。

【0036】ステップST17では、制御周期 $n$ でロボットがワークに追いつくために必要な次制御周期ロボット追従移動量 $v_n$ を次式から求める。

$$x_c = d + v_c \times (n - 1)$$

$$x_r = na \times (na - 1) \times acc / 2$$

$$v_n = (x_c - x_r) / nd - (nd - 1) \times dec / 2$$

ここで、 $x_c$ 、 $x_r$ はそれぞれ $n$ 制御周期後までのワーク、ロボットの移動量である。

【0037】ステップST16で $nd$ が0の場合はステップST20に進み、 $v_c$ と次制御周期最小追従移動量 $v_d$ の比較を行い、 $v_c$ の方が大きい場合はステップST21に進み、そうでない場合はステップST22に進む。

【0038】ステップST21では次式により、 $v_n$ を求める。

$$n = \text{int}((v_c - v_d) / acc) + 1$$

$$x_c = d + v_c \times (n - 1)$$

$$v_n = x_c / n - acc \times (n - 1) / 2$$

ここで、 $x_c$ はロボットがワークに追いつくまでにワークが移動する量である。

【0039】一方、ステップST20で $v_c$ が $v_d$ と等しいか、または $v_d$ より小さい場合、ロボットとコンベアは等速度と考えられるので、 $v_n = d$ とする。

【0040】ステップST18では、 $v_n$ と $v_a$ を比較し、 $v_n$ が $v_a$ より小さい場合はステップST19に進み、 $v_n$ の値を $v_a$ に修正する。また、ステップST18で $v_n$ が $v_a$ より小さくない場合は、ステップST2

3に進み、 $v_n$ と $v_d$ を比較する。ステップST23で、 $v_n$ が $v_d$ より大きい場合はステップST24で $v_n$ の値を $v_d$ に修正する。 $v_n$ が $v_d$ より大きくない場合は、ステップST17、ST21、ST22で求めた $v_n$ の値をそのまま用いる。

【0041】以上のようにして求めたロボット追従移動量 $V_n$ は指令パルス生成部21に出力される。また、次式で追従誤差 $R_{i+1}$ を次式により求め、追従誤差データ記憶部28に保存される。

$$R_{i+1} = R_i + dC_i - V_n$$

【0042】動作制御部20では、ロボットプログラムに従った動作指令値を生成し、指令パルス生成部21に出力する。指令パルス生成部21では、動作制御部20で生成された指令値と、追従移動量生成部27で生成された追従移動量を合成し、得られた指令データを逆変換してサーボモータのパルスデータをサーボ制御部22に出力する。サーボ制御部22では、指令パルス生成部21で生成されたパルスデータに従ってロボットのサーボモータを制御することにより、ロボットに所望の動作をさせる。

【0043】図4はコンベア速度とロボットの追従速度の変化を表す説明図である。図において、 $v_c$ はコンベア速度、 $v_r$ はロボットの追従速度を表す。時刻 $t_0$ にロボットはコンベアに対し追従作業を開始し、追従後れを取り戻すため、時刻 $t_1$ まで制御周期ごとに次制御周期の追従速度を図2、図3の手順によって求め、加速する。時刻 $t_1$ において次制御周期の追従速度を計算すると、このまま加速するとコンベア上の目的位置を追い越してしまうため減速に入る。時刻 $t_2$ ではコンベアの速度が $v_1$ から $v_2$ に高速に変化したため、再びロボットの追従速度も加速し、時刻 $t_3$ で、目的位置を追い越さないように減速をはじめ、時刻 $t_4$ でコンベアに追いつく。

【0044】実施の形態1では、ロボットの動作可能な最大速度、最大加減速度(加速パターン、減速パターン)を考慮して、追従移動量を決定するようにしたので、コンベアの速度に変動があっても高速にワークに追従することが可能となる。実施の形態1では加速パターン、減速パターンとして1制御周期追従加速量及び減速量を用いた例を示したが、加速時間、減速時間を用いてもよい。なお、コンベア速度に対し、ロボットの最高速度が十分速い場合、ロボットの最大速度を考慮せずに追従移動量を決定してもよい。

【0045】また、滑らかに加減速を行うので、振動を起さずに追従でき、高精度に追従作業が可能となる。

【0046】また、コンベアエンコーダの最大値、最小値を自由に決定できるので、長いコンベアでの追従作業が可能である。さらに、エンコーダ値に対してフィルタをかけることができるので、コンベアが振動的であっても滑らかに追従することが可能である。

【0047】上記実施の形態1では、追従遅れ補正部26において、 $b = 1/KT + c + 1$ という式を用いて追従遅れ補正量を求めたが、あらかじめコンベアの移動量ごとやロボットの位置、姿勢ごとに補正量を求め、テーブルとして記憶し、動作時にはロボットの現在の位置や速度から補正量をテーブルのデータから補間して求めてもよい。また、補正量の代わりに $b$ の値をテーブルに記憶しておいてもよい。図5は補正係数 $b$ の値をロボットの位置 $x$ の値ごとに記憶したテーブルである。追従遅れ補正部26で追従遅れ補正量を計算するときロボットの現在位置を示す $x$ の値が $x_1 < x < x_2$ であったとすると次式で補正係数 $b$ を求める。

$$b = (b_2 - b_1)(x - x_1) / (x_2 - x_1) + b_1$$

この $b$ の値を用いて補正量を求めることにより、ロボットの位置による追従誤差をなくすることが可能である。上記実施の形態1では、ロボットの位置、姿勢ごとに補正量を求めているが、このほか、ロボットの状態を表す量、またはコンベアの速度等の状態を表す量を用いてもよい。

【0048】また、上記実施の形態1では、追従遅れ補正部26において、補正係数 $b$ をロボットの位置姿勢から動的に計算して求めても同様な効果が得られることはいうまでもない。

【0049】上記実施の形態1では、過渡追従遅れ補正量生成部27で生成したロボット追従移動量を直接指令パルス生成部に渡したが、指令値を滑らかにするため、最近の $m$ 制御周期分追従移動量を平均してもよい。その場合、追従遅れ補正部26の $b$ に $m$ を加える、例えば、 $b$ を $b = 1/KT + c + 1$ と言う式を用いて求めている場合、 $b = 1/KT + c + m + 1$ とすることによって、平均することによる遅れを補正することができる。

【0050】上記実施の形態1では、仮想エンコーダ値生成部24において、コンベアのエンコーダ値を仮想エンコーダ値に変換していたが、エンコーダ値検出部23のカウンタのビット数が追従作業領域に対し、十分大きい場合や、コンベアの動作が振動的でない場合は図6に示すように、図1に示す仮想エンコーダ値生成部24がない構成でも同様の効果があることは言うまでもない。図6の構成では、エンコータ値検出部23により検出されたエンコーダ値が直接コンベア移動量生成部25へ送られ、このエンコータ値に基づきコンベア移動量が演算される。

【0051】上記実施の形態1では、コンベアエンコーダによってコンベアの位置を把握し、コンベアに追従しながら作業を行う場合について述べたが、コンベア以外の搬送装置、例えば、 $xy$ テーブルや他のロボットによって搬送される場合でも、それらの現在位置を直接コントローラに入力することによって同様に追従作業が可能である。

【0052】実施の形態2. 図7は、この発明を実施するための実施の形態2によるロボット制御装置を説明するための図である。図において、図1と同一の符号を付したものは、同一またはこれに相当するものである。また、図7において、29は関節追従遅れ補正部であり、指令パルス生成部21で生成された各関節ごとの指令パルスに対し、追従遅れを補正する。

【0053】次に動作について説明する。コンペアエンコーダ4、エンコーダ値検出部23、コンペア移動量生成部25は実施の形態1と同様の動作を行う。追従移動量生成部27では、実施の形態1では追従遅れ補正部で生成された次の1制御周期における推定コンペア移動量の代わりに、コンペア移動量生成部25で生成されたコンペア移動量を用いてロボットの追従移動量を生成する。生成方法は、実施の形態1と同様である。

【0054】動作制御部20では、ロボットプログラムに従った動作指令値を生成し、指令パルス生成部21に出力する。指令パルス生成部21では、動作制御部20で生成された指令値と、追従移動量生成部27で生成された追従移動量を合成し、得られた指令データを逆変換してサーボモータのパルスデータを関節追従遅れ補正部29に出力する。

【0055】関節追従遅れ補正部29では、各関節ごとに遅れ量を補正する。実施の形態1では、追従遅れ補正部でコンペアの移動量から次制御周期のコンペア推定移動量を求めたが、関節追従遅れ補正部29では、コンペア移動量の代わりにロボット関節移動量を用いて追従遅れ分補正した関節移動量を生成する。

【0056】サーボ制御部22に出力する。サーボ制御部22では、関節追従遅れ補正部29で生成されたパルスデータに従ってロボットのサーボモータを制御することにより、ロボットに所望の動作をさせる。

【0057】上記実施の形態2では、各関節ごとに遅れ量を補正するように構成したので、より高精度な追従作業が可能となる。

【0058】また、上記実施の形態2では、コンペアエンコーダによってコンペアの位置を把握し、コンペアに追従しながら作業を行う場合について述べたが、コンペア以外の搬送装置、例えば、xyテーブルや他のロボットによって搬送される場合でも、それらの現在位置を直接コントローラに入力することによって同様に追従作業が可能である。

【0059】

【発明の効果】この発明の第1の構成であるロボット制御装置によれば、追従移動量生成部であらかじめ定められたロボットの加速パターン、減速パターン、ロボットの現在追従速度、搬送装置の現在速度、ロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従誤差から最短時間でロボットと搬送装置の速度が等しくかつロボットの現在位置と搬送装置上の目的位置の追従誤差がなくなるよう

に追従移動量を決定するため、高速に追従作業が可能となるという効果がある。

【0060】また、この発明の第2の構成であるロボット制御装置によれば、指令値生成部からサーボ制御部に指令値が送信される時間遅れと、サーボ制御部でのロボットの制御遅れ量を補正するため、高精度の追従作業が可能になるという効果がある。

【0061】また、この発明の第3の構成であるロボット制御装置によれば、定常的な追従誤差を補正する時に、サーボモータの制御ゲインから補正係数を決めるようにしたので、容易に高精度な追従作業を実現できるという効果がある。

【0062】また、この発明の第4の構成であるロボット制御装置によれば、追従遅れ補正部であらかじめ記憶領域に記憶された搬送装置の速度やロボットの位置姿勢ごとの補正データを用いて追従補正を行うため、搬送装置の速度変動、ロボットの位置姿勢によらず高精度な追従作業が可能となるという効果がある。

【0063】また、この発明の第5の構成であるロボット制御装置によれば、仮想的な搬送装置の位置を用いて追従作業を行うので、搬送装置の距離が長くなっても追従作業が可能であるという効果がある。また、仮想的な搬送装置の速度を滑らかにする事により、滑らかなロボットの動作を実現できるという効果がある。

【0064】また、この発明の第6の構成であるロボット制御装置によれば、ロボットの各関節ごとに追従遅れを補正するので、高精度な追従作業が実現できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1によるロボット制御装置を説明するための構成図である。

【図2】 この発明の実施の形態1による追従移動量の生成手順を説明するためのフロー図である。

【図3】 この発明の実施の形態1による追従移動量の生成手順を説明するためのフロー図である。

【図4】 この発明の実施の形態1によるロボットと搬送装置の速度と時間の関係を説明するための図である。

【図5】 この発明の実施の形態1による追従補正データの記憶領域を説明するための図である。

【図6】 この発明の実施の形態1によるロボット制御装置を説明するための構成図である。

【図7】 この発明の実施の形態2によるロボット制御装置を説明するための構成図である。

【図8】 従来のロボット制御装置を説明するための構成図である。

【符号の説明】

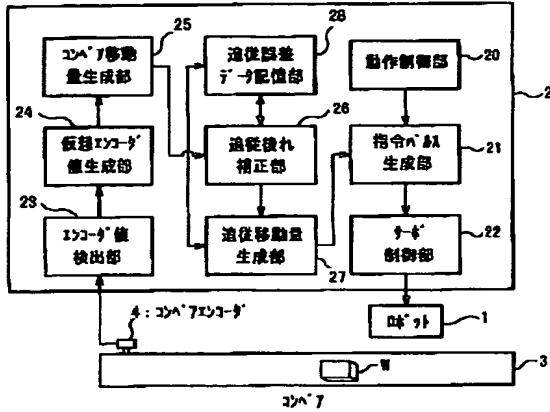
1 ロボット、2 ロボット制御装置、3 搬送装置、4 コンペアエンコーダ、20 動作制御部、21 指令パルス生成部、22 サーボ制御部、23 搬送装置位置検出部、24 仮想搬送装置位置生成部、25 搬送



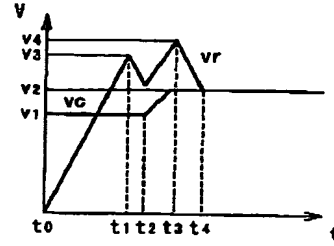
装置移動量生成部、26 追従遅れ補正部、27 追従移動量生成部、28 追従誤差記憶部、29 関節追従

遅れ補正部。

【図1】



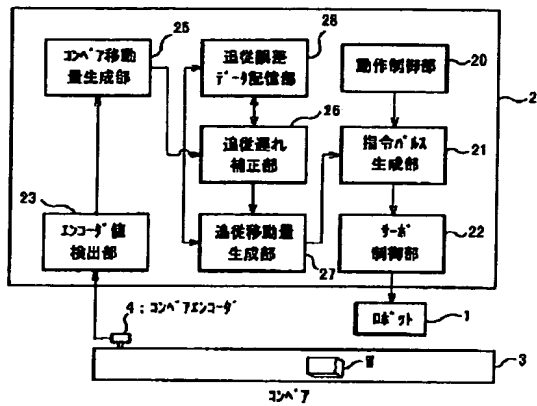
【図4】



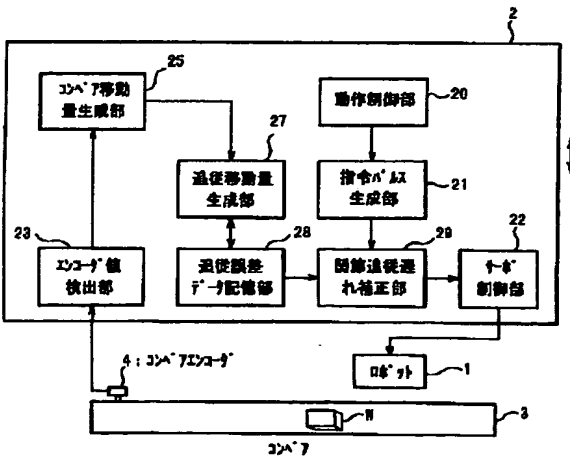
【図5】

ロボット位置	補正係数b
x1	b1
x2	b2
...	...
xn	bn

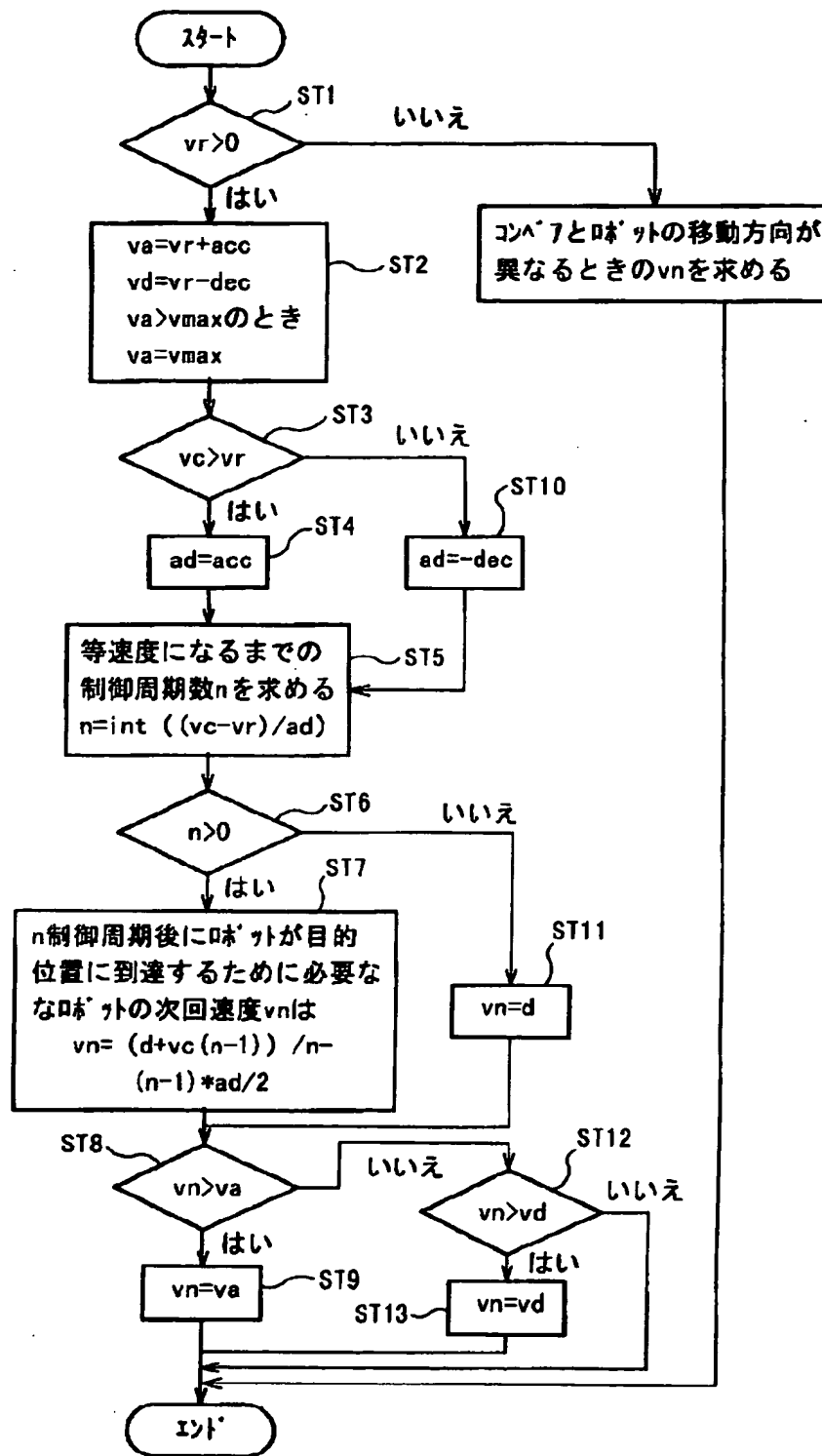
【図6】



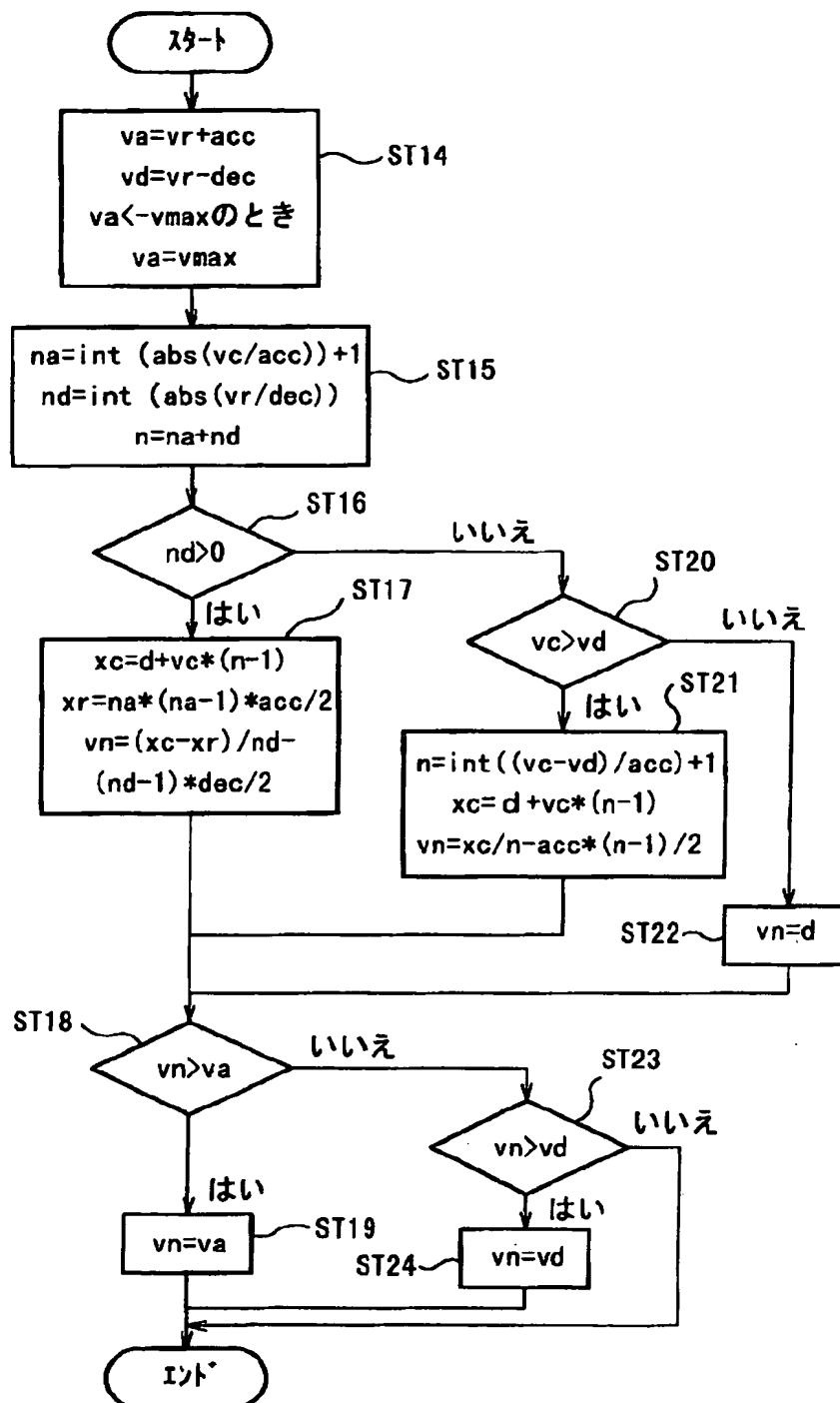
【図7】



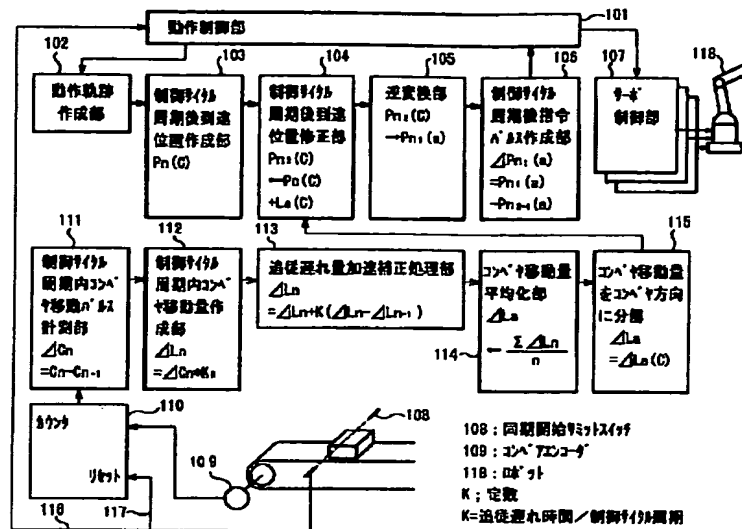
【図2】



【図3】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 5 D 3/12

識別記号

3 0 6

F I

G 0 5 D 3/12

テ-マ-ト(参考)

3 0 6 R

F タ-ム(参考) 3F059 AA01 BA02 BC07 DA02 DA05  
 DA08 DD01 FA03 FB01 FB05  
 FB15 FB30 FC02 FC13 FC14  
 5H269 AB33 BB03 CC13 EE05 EE11  
 FF06 JJ02 JJ09 JJ19 JJ20  
 QB15  
 5H303 AA10 BB03 BB09 CC02 DD01  
 DD28 EE03 EE10 FF09 FF11  
 GG11 GG14 KK08 KK11 KK22  
 LL03